

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-320222

(43)Date of publication of application : 12.12.1997

(51)Int.Cl.

G11B 21/10
G11B 21/02

(21)Application number : 08-136624

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 30.05.1996

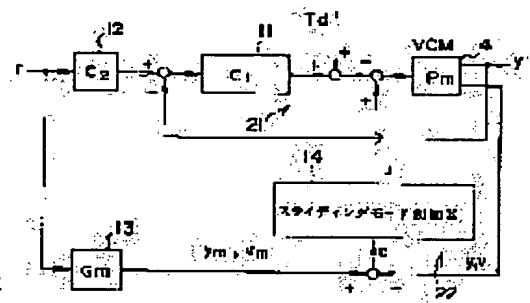
(72)Inventor : TAKAKURA SHINJI

(54) METHOD OF HEAD POSITIONING CONTROL IN MAGNETIC DISK DEVICE AND SYSTEM THEREOF

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To realize good seeking performance, even against disturbance and variance of a head driving system by performing the head positioning control in using a sliding mode control system jointly with a linear feedback control system.

SOLUTION: G_m is a transfer function of a normative model to be set by a normative model setter 13, and by passing a target value r through this function G_m , normative head position and moving speed responses y_m and v_m are obtained. A deviation (e) is given as a deviation of the head position and speed from the normative model, respectively. A sliding mode control input (u) and disturbance T_d are added to a control input of a VCM 4 in a feedback control system 21. Then, the control input (u) is so decided, as to make the deviation (e) zero. Then, the control system 22 is influenced by the disturbance T_d through a sensitivity function in virtue of a controller 11. The disturbance T_d is demised in a low-frequency band. Consequently, as compared with a control system using only a sliding mode controller 14, sliding operation is more difficult to be lost with respect to the disturbance T_b by jointly using the controllers 11 and 14.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-320222

(43)公開日 平成9年(1997)12月12日

| (51)Int.Cl. ⁸ | 識別記号 | 庁内整理番号 | F I | 技術表示箇所 |
|--------------------------|-------|--------|---------------|---------|
| G 1 1 B 21/10 | | | G 1 1 B 21/10 | T |
| 21/02 | 6 1 2 | | 21/02 | 6 1 2 P |

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 13 頁)

(21)出願番号 特願平8-136624

(22)出願日 平成8年(1996)5月30日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 高倉 晋司

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

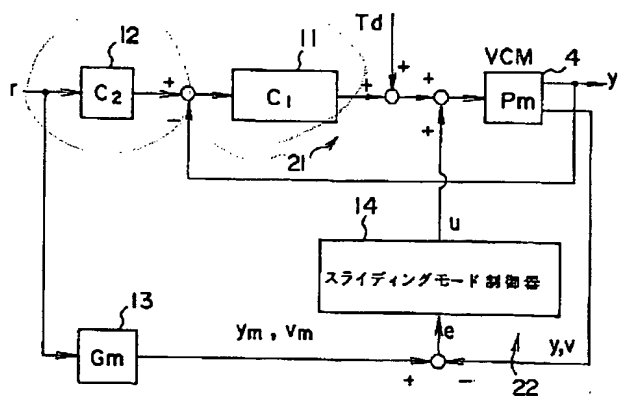
(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

(54)【発明の名称】 磁気ディスク装置におけるヘッド位置決め制御方法およびヘッド位置決め制御システム

(57)【要約】

【課題】外乱やヘッド駆動系のばらつきに対しても良好なシーク性能が得られ、ロバスト性に優れた磁気ディスク装置におけるヘッド位置決め制御システムを提供する。

【解決手段】磁気ヘッドを磁気ディスクの半径方向に移動させるVCM4に対して、ヘッド位置 y に従ってフィードバック制御するフィードバック制御器11を含む線形フィードバック制御系21と、ヘッド位置および移動速度の規範応答に対する偏差 e に従ってスライディングモードでフィードバック制御するスライディングモード制御器14を含むスライディングモード制御系22を構成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ディスク状磁気記録媒体を用いて磁気ヘッドにより記録再生を行う磁気ディスク装置において、線形フィードバック制御系とスライディングモード制御系を併用して前記磁気ヘッドを前記磁気記録媒体上の目標トラックに位置決め制御することの特徴とする磁気ディスク装置におけるヘッド位置決め制御方法。

【請求項2】 ディスク状磁気記録媒体を用いて磁気ヘッドにより記録再生を行う磁気ディスク装置において、前記磁気ヘッドを前記ディスク状磁気記録媒体の半径方向に移動させるヘッド駆動手段と、前記磁気記録媒体上における前記磁気ヘッドの位置を検出してヘッド位置情報を出力するヘッド位置検出手段と、

このヘッド位置検出手段から出力されるヘッド位置情報に従って前記ヘッド駆動手段をフィードバック制御する線形フィードバック制御手段と、前記磁気ヘッドの位置および移動速度の偏差の情報に従って前記ヘッド駆動手段をスライディングモードでフィードバック制御するスライディングモード制御手段とを有することを特徴とする磁気ディスク装置におけるヘッド位置決め制御システム。

【請求項3】 前記スライディングモード制御手段は、前記線形フィードバック制御手段による前記ヘッド駆動手段への制御入力にスライディングモード制御信号を加算することを特徴とする請求項2に記載の磁気ディスク装置におけるヘッド位置決め制御システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明はハードディスク装置などの磁気ディスク装置に係り、特に磁気ヘッドの位置決め制御システムに関する。

【0002】

【従来の技術】 磁気ディスク装置に対する記録容量の増大の要求は高く、記録密度を上げるためにトラックピッチ

$$y = \frac{P_m C_1 C_2}{1 + P_m C_1} r + \frac{P_m}{1 + P_m C_1} T_d \quad (1)$$

【0008】 ここでは、モデル誤差は等価加速度外乱として外乱 T_d に含めて考えている。また、図2(a)

(b)にフィードバック制御器の伝達関数 C_1 のゲインおよび位相の周波数特性を示す。

【0009】 式(1)から分かるように、外乱 T_d がヘッド位置 y に及ぼす影響はフィードバック制御器の伝達関数 C_1 によって決まる。すなわち、外乱 T_d の影響を小さくするためには、フィードバック制御系の制御帯域を広くするか、あるいはフィードバック制御器を外乱 T_d に対して最適に設計する必要がある。しかし、前者については信号処理系のサンプリング周波数とVCMの共振のため、制御帯域の上限を現状の300Hz近傍より

チをより狭くする傾向にある。この狭トラックピッチ化に伴って、耐衝撃性能(ロバスト性)と、磁気ヘッドを目標トラックに位置決めするシーク動作の高速化が要求されるようになってきている。

【0003】 磁気ディスク装置の耐衝撃性能を上げるために、衝撃センサを用いて磁気ディスク装置に加わる衝撃を検知し、その検知出力が所定の閾値を越えると書き込み動作を停止させる方法が考えられている。しかし、この方法ではトラックピッチが狭くなると、小さな衝撃に対してもオフトラックを起こしてしまうので、書き込み動作を頻繁に停止させなければならず、磁気ディスク装置の性能が低下するという問題がある。

【0004】 一方、シーク動作に関しては、磁気ヘッドを磁気ディスクの半径方向に移動させるためのVCM(ボイスコイルモータ)などのヘッド駆動系であるの特性のばらつきによってシーク波形にばらつきが生じてしまい、シーク速度が低下するという問題がある。

【0005】 これらのことから、狭トラックピッチ化に伴って、衝撃などの外乱やヘッド駆動系のばらつきに強いヘッド位置決め制御システムが今後重要となってくる。しかし、線形フィードバック制御系を用いて構成される従来のヘッド位置決め制御システムでは、このような要求に応えることが難しい。以下に、その理由を説明する。

【0006】 図1は、従来のヘッド位置決め制御システムを構成する2自由度制御系の構成を示す図であり、 r は目標値(目標トラック位置)、 y はヘッド位置、 $C_1(s)$ はフィードバック制御器の伝達関数、 $C_2(s)$ は目標値応答特性を改善するための前置補償器の伝達関数、 $P_m(s)$ はVCMの伝達関数、 T_d は加速度外乱を表す。この制御系でのヘッド位置 y は、式(1)で表される。

【0007】

【数1】

35

も高くすることは困難である。一方、後者については外乱 T_d の周波数帯域と大きさを適切に見積もることが必要であり、これも非常に困難である。

【0010】 図3(a)(b)に、図1のヘッド位置決め制御システムのゲインおよび位相のオープンループ周波数特性を示す。この図から、オープンループのクロス周波数はおよそ300Hzになっていることが分かる。これはVCMの4kHz近傍の共振からくるものである。

【0011】 このフィードバック制御系に対して、図1に示したように2自由度制御系を構成してシーク動作を行った時のシミュレーション結果を図5の1トラックシ

ーク波形に示す。1トラックシーク波形とは、ある一つの目標トラックに対してシーク動作を行った時のヘッド位置の時間応答を示す波形であり、縦軸のヘッド位置では目標トラックのトラック幅方向の中心位置を0で表し、横軸の時間はシーク動作開始からの経過時間を表している。図5はモデル誤差と外乱のない場合のシーク波形であり、図4に示す規範応答と良く一致していることが分かる。

【0012】次に、この2自由度制御系に外乱（モデル誤差を含む）を加えた時の1トラックシーク波形を図6および図7に示す。図6はVCMのばらつきによってループゲインが3dB下がった時のシーク波形、図7はシーク途中で図8に示すような加速度外乱が加わった時のシーク波形である。この加速度外乱の大きさは、シーク時に発生させることのできる最大加速度の約70%としている。これらのシミュレーション結果から、従来のヘッド位置決め制御システムでは、VCMのばらつきや外乱の影響でシーク波形が乱れてシーク時間が長くなり、十分なロバスト性が得られていないことが分かる。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、従来のヘッド位置決め制御システムでは、特にトラックピッチが狭くなった場合、外乱やヘッド駆動系のばらつきによってシーク性能が低下するという問題があった。

【0014】本発明は、外乱やヘッド駆動系のばらつきに対しても良好なシーク性能が得られ、ロバスト性に優れた磁気ディスク装置におけるヘッド位置決め制御方法およびシステムを提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するため、本発明に係る磁気ディスク装置におけるヘッド位置決め制御方法は、ディスク状磁気記録媒体を用いて磁気ヘッドにより記録再生を行う磁気ディスク装置において、線形フィードバック制御系とスライディングモード制御系を併用して磁気ヘッドを磁気記録媒体上の目標トラックに位置決め制御することを特徴とする。

【0016】さらに、本発明に係る磁気ディスク装置におけるヘッド位置決め制御システムは、ディスク状磁気記録媒体を用いて磁気ヘッドにより記録再生を行う磁気ディスク装置において、磁気ヘッドをディスク状磁気記録媒体の半径方向に移動させるヘッド駆動手段と、磁気記録媒体上における磁気ヘッドの位置を検出してヘッド位置情報を出力するヘッド位置検出手段と、このヘッド位置検出手段から出力されたヘッド位置情報に従ってヘッド駆動手段をフィードバック制御する線形フィードバック制御手段と、磁気ヘッドの位置および移動速度の偏差の情報に従ってヘッド駆動手段をスライディングモードでフィードバック制御するスライディングモード制御手段とを有することを特徴とする。

【0017】ここで、スライディングモード制御は、非

線形フィードバック制御の一つであり、滑り動作（sliding state）とも呼ばれ、例えば「自動制御ハンドブック基礎編」、社団法人 計測自動制御学会編、オーム社発行（平成4年11月30日、第1版第2刷）の第272頁～第273頁に記載されているように、既に良く知られた技術である。このスライディングモード制御では、非線形フィードバック制御系で偏差空間に切り換え面（または切り換え線）を設定し、制御の過程で偏差が切り換え面上に沿って原点（偏差0の点）に向かう際に、切り換え面上のある途中の点から切り換え面に沿って微小な振動を行いつつ原点に達する動作（これを滑り動作という）を行う。

【0018】本発明では、このようなスライディングモード制御系を線形フィードバック制御系と併用してヘッド位置決め制御を行うことにより、トラックピッチが小さくなった場合でも、外乱やVCMなどのヘッド駆動系のばらつきの影響を受けずに良好なシーク動作を実現することができる。すなわち、従来の線形フィードバック制御系のみによるヘッド位置決め制御では抑圧できなかった外乱やヘッド駆動系のばらつきの影響がスライディングモード制御系によって抑圧される。

【0019】さらに、スライディングモード制御系は制御入力が不連続性を持っているためにチャタリングが起りやすい系であるが、線形フィードバック制御系と併用することにより、このようなスライディングモード制御系の持つ欠点が緩和され、安定したヘッド位置決め制御が可能となる。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施形態を説明する。

【0021】図9は、本発明の一実施形態に係る磁気ディスク装置の全体的な概略構成を示すブロック図である。ディスク状磁気記録媒体（以下、磁気ディスクという）1は、スピンドルモータ2により回転駆動される。磁気ヘッド3は、例えば誘導型ヘッドからなる記録ヘッドとMRヘッド（磁気抵抗型ヘッド）からなる再生ヘッドを一体化した複合ヘッド、または誘導型ヘッドからなる記録再生兼用ヘッドにより構成される。この磁気ヘッド3は、ヘッドアクチュエータであるVCM（ボイスコイルモータ）4により磁気ディスク1の半径方向に駆動され、VCM4を制御する制御部7により磁気ディスク1上の目標トラックに位置決めされつつ、リードライト回路5を介してデータの記録再生を行う。

【0022】データの記録再生時には、磁気ディスク1上のトラックに公知の技術に従って予め記録されているサーボ情報が読み取られ、このサーボ情報から磁気ディスク1上の磁気ヘッド3の位置を示すヘッド位置情報がヘッド位置検出部6によって検出される。このヘッド位置検出部6により検出されたヘッド位置情報は、制御部7に供給される。制御部7は例えばDSP（デジタル

信号処理装置)を用いて構成され、ヘッド位置情報に基づいてデジタル処理によりVCM4の制御を行う。なお、制御部7の出力段にはデジタル信号をVCM4の駆動入力であるアナログ信号(電圧信号)に変換するためのD/A変換器が設けられている。

【0023】図10は、VCM4とヘッド位置検出部6および制御部7を含むヘッド位置決め制御システムの機能的構成を示す制御ブロック図である。このヘッド位置決め制御システムは、フィードバック制御器11、前置補償器12、規範モデル設定器13およびスライディングモード制御器14を主たる構成要素として含み、フィードバック制御器11による従来の線形フィードバック制御系21に、スライディングモード制御器14によるスライディングモード制御系22を組み合わせた制御系となっている。なお、図10中に示す各パラメータの定義は、次の通りである。

【0024】 r : 目標値

y : ヘッド位置

v : ヘッド移動速度

P_m : VCM4の伝達関数

C_1 : フィードバック制御器11の伝達関数

C_2 : 前置補償器12の伝達関数

G_m : 規範モデル伝達関数

$$e = \begin{bmatrix} y_m - y \\ v_m - v \end{bmatrix}$$

【0027】スライディングモード制御入力 u は、スライディングモード制御器11からフィードバック制御系21に入力される制御入力であり、図10に示すようにフィードバック制御系21におけるVCM4の制御入力に加算される。外乱 T_d は、ヘッド位置決め制御システムに加わる衝撃などの加速度外乱とVCM4のゲインばらつきなどのモデル誤差を表し、これもVCM4の制御入力に加算される。

$$y \simeq G_m r + \frac{P_m}{1 + P_m C_1} T_d \quad (3)$$

【0030】また、ヘッド位置 y の規範応答 y_m に対する偏差(位置偏差) $e_1 = y_m - y$ は、式(4)のように表すことができる。

$$e_1 \equiv y_m - y = - \frac{P_m}{1 + P_m C_1} T_d \quad (4)$$

【0032】この位置偏差 e_1 に着目すると、図10の制御系は図11(a)に示すような等価ブロック図で表すことができる。図11(a)で偏差 e が0となるように、スライディングモード制御入力 u を決める。

【0033】さらに、図11(a)から加速度外乱 T_d はスライディングモード制御系22に対し、フィードバック制御器11の働きにより感度関数 $1/(1 + P_m C_1)$

y_m : ヘッド位置の規範応答

v_m : ヘッド移動速度の規範応答

e : 偏差

u : スライディングモード制御入力

05 T_d : 外乱

これらの各パラメータについてさらに詳しく説明すると、目標値 r は磁気ヘッド3を位置決めすべき磁気ディスク1上の位置(目標トラック)であり、外部から与えられる。ヘッド位置 y は、ヘッド位置検出部6により検出された磁気ヘッド3の位置である。ヘッド移動速度 v は、シーク時の磁気ヘッド3の移動速度であり、隣接する二つのサンプリング時刻におけるヘッド位置、具体的には隣接するサーボセクタ上のヘッド位置を y_1 , y_2 とすれば、 $v = y_1 - y_2$ で与えられる。

15 【0025】 G_m は規範モデル設定器13により設定される規範モデルの伝達関数であり、目標値 r をこの伝達関数 G_m に通すことによって、ヘッド位置の規範応答 y_m とヘッド移動速度の規範応答 v_m が得られる。偏差 e は規範モデルに対するヘッド位置およびヘッド移動速度
20 の偏差であり、式(2)で表される。

【0026】

【数2】

【0028】次に、本実施形態におけるヘッド位置決め制御システムの作用を説明する。ヘッド位置 y は、前掲の式(1)で表される。この式(1)の第1項は、規範
30 モデル伝達関数 G_m の応答 $G_m r$ に非常に近いので、式(1)は近似的に式(3)のように表すことができる。

【0029】

【数3】

【0031】

【数4】

1)を通して影響を与えることが分かる。図12に、感度関数 $1/(1 + P_m C_1)$ のゲインおよび位相の周波数特性を示す。また、図13に相補感度関数 $P_m C_1/(1 + P_m C_1)$ のゲインおよび位相の周波数特性を示す。

【0034】図12から、外乱 T_d はフィードバック制御器11の働きで与えられる感度関数 $1/(1 + P_m C_1)$

1) によって、低周波領域で小さくなる。従って、スライディングモード制御器のみを用いたヘッド位置決め制御システムに比べて、フィードバック制御器 11 とスライディングモード制御器 14 を併用した本実施形態のヘッド位置決め制御システムの方が、同じ外乱 T_d に対してスライディングモード、すなわち滑り動作から外れにくいことが分かる。

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_1 \\ \dot{e}_2 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} + b u \quad (5)$$

【0038】このような誤差システムに対して、スライディングモード制御器 14 を最適に構成する。まず、等価制御を考えてみる。偏差空間での切り換え面は、式

$$\sigma = \begin{bmatrix} s_1 & s_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} = S e \quad (6)$$

【0040】式 (6) を微分すると、式 (7) が得られる。

$$\dot{\sigma} = S \dot{e} = S (A e + b u) \quad (7)$$

【0042】スライディングモード制御器 14 を文献：野田および田による「スライディングモード制御」、コロナ社、1994 年に記載された最終スライディングモード制御法により構成する場合、スライディングモード制御器 14 からの出力であるスライディングモード制御入力 u は、 $u = u_{eq} + u_{nl}$ で表される。 u_{eq} は等価線形入力項と呼ばれ、 u_{nl} は非線形制御入力項と呼ばれる。 $u_{eq} = - (S b)^{-1} S A e$

【0035】次に、図 14 を用いてスライディングモード制御器 14 の具体的な実現法について説明する。

【0036】まず、制御対象である VCM4 を偏差発生システムとして式 (5) で表す。

【0037】

【数 5】

(6) で与えられる。

【0039】

【数 6】

【0041】

【数 7】

S はスライディングモード制御系 22 における切り換え面を表すパラメータである。スライディングモードが存在すると、式 (7) は 0 であるため、 $S b \neq 0$ ならば、等価線形入力項 u_{eq} は式 (8) となる。

【0043】

【数 8】

(8)

【0044】また、線形制御入力項 u_{nl} としては様々な形式が考えられるが、本実施形態では式 (9) で表される一般的なものを用いている。なお、 η は不連続入力を連続関数で近似してチャタリングを除去するための定数

35 である。

【0045】

【数 9】

$$u_{nl} = \alpha (S b)^{-1} \frac{\sigma^2}{|\sigma| + \eta}, \quad \eta > 0 \quad (9)$$

【0046】次に、パラメータ S の設定について述べる。図 11 (a) は、図 11 (b) のように書き直すことができる。ここで、 C_1 は式 (10) で表される。

$$C_1 \begin{cases} \dot{z} = A_{c1} z + b_{c1} e_1 \\ y_{c1} = C_{c1} z \end{cases} \quad (10)$$

【0048】これから、図 11 (b) は式 (11) で表される。

【0049】

【数 11】

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_1 \\ \dot{e}_2 \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_p & b_p & C_{c1} \\ & & \\ -b_{c1} & A_{c1} & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_p \\ 0 \end{bmatrix} u_{s11} + \begin{bmatrix} b_p \\ 0 \end{bmatrix} T_d \quad (11)$$

【0050】ここで、 u_{s11} に u_{eq} を代入すると、式 (12) となる。

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_1 \\ \dot{e}_2 \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1 - b_p (S b_p)^{-1} S A_p) & b_p & C_{c1} \\ & & \\ -b_{c1} C_p & & A_{c1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_p \\ 0 \end{bmatrix} T_d \quad (12)$$

【0052】パラメータ S は、式 (12) が安定になるように設定すれば良い。

【0053】次に、本発明の効果を確認するために行ったシミュレーション結果および実験結果について説明する。

【0054】図15および図16に、スライディングモード制御器のみを用いたヘッド位置制御システムにおいて、ノミナルモデルに対してシミュレーションを行った結果を示す。また、図17および図18に、図14に示したような線形フィードバック制御器11とスライディングモード制御器14を併用した本実施形態によるヘッド位置制御システムにおいて、ノミナルモデルに対してシミュレーションを行った結果を示す。図15および図17は1トラックシーク波形、すなわちある一つの目標トラックに対するシーク動作を行った時のヘッド位置の時間応答を示しており、また図16および図18は切り換え関数 σ の値のシーク時の変化を示している。

【0055】図15および図17に示すように、シーク時のヘッド位置の時間応答はいずれも図4に示した規範応答に良く一致しているが、切り換え関数 σ の値の変化は図16と図18を比較して分かるように線形フィードバック制御器11を併用した本実施形態の方が小さい。これは、スライディングモード制御器14が線形フィードバック制御器11で抑圧することのできなかった外乱やモデル誤差を吸収するように働いていることを示している。また、このように切り換え関数 σ の値の変化を小さくできるということは、スライディングモード制御に特有のチャタリングを起こしにくい制御系となっていることをも示している。

【0056】次に、VCM4のモデルに共振を持たせた時のシミュレーション結果を図19～図22に示す。図19および図20は、スライディングモード制御器のみを用いたヘッド位置決め制御システムにおいて、モデル

誤差に4kHzの共振を持たせた場合の1トラックシーク波形と切り換え関数 σ の値のシーク時の変化をそれぞれ示す。同様に、図21および図22は、線形フィードバック制御器11とスライディングモード制御器14を併用した本実施形態によるヘッド位置制御システムにおいて、モデル誤差4kHzに共振を持たせた場合の1トラックシーク波形と切り換え関数 σ の値のシーク時の変化をそれぞれ表す。

【0057】図19および図21に示すように、ヘッド位置の時間応答はいずれも図4に示した規範応答に良く一致しているが、切り換え関数 σ の値の変化は図20と図22を比較して分かるように、線形フィードバック制御器11を併用した本実施形態の方が小さく、スライディングモード制御に特有のチャタリングが小さくなっている。

【0058】次に、ヘッド位置決め制御システムに図8に示したような加速度外乱を加えた時のシミュレーション結果を図23および図24に示す。この加速度外乱は、シーク時のゲインで発生させることのできる最大加速度の約70%に相当する。図23はスライディングモード制御器のみを用いたヘッド位置制御システムにおいて、上記の加速度外乱を加えた場合の1トラックシーク波形を示し、図24は線形フィードバック制御器11とスライディングモード制御器14を併用した本実施形態によるヘッド位置制御システムにおいて、上記と同じ加速度外乱を加えた場合の1トラックシーク波形を示している。

【0059】図23と図24を比較すると、線形フィードバック制御器11とスライディングモード制御器14を併用した本実施形態によるヘッド位置制御システムの方がヘッド位置の偏差が小さく、かつスライディングモード、すなわち滑り動作に速やかに引き込まれていることが分かる。これは線形フィードバック制御器11の併

用により、外乱が等価的に小さくなっていることによる。

【0060】次に、スライディングモード制御器のみを用いたヘッド位置制御システムと、線形フィードバック制御器11とスライディングモード制御器14を併用した本実施形態によるヘッド位置制御システムについて行った実験結果について説明する。

【0061】実験システムに用いた磁気ディスク装置について簡単に述べると、まず磁気ディスク1としてはオールサーボ情報を記録した磁気ディスクを用いた。セクタ数は350セクタであり、実験ではそれらのうちの175セクタを用いた。磁気ディスク1の回転数は4,200rpmであり、従ってサーボ情報のサンプリング周波数は12.25kHzとした。制御部7にはDSP(TMS320C31)を用い、浮動小数点演算を行った。また、制御部7の出力段に含まれるD/A変換器の出力に外部から疑似的な加速度外乱として電圧信号を加えることができるようにした。

【0062】まず、図25にフィードバック制御器のみを用いた図1の従来の2自由度ヘッド位置制御システムにおける1トラックシーク波形の実験結果を示す。実験結果は、約40回分のシーク波形を重ね書きしたものである。また、この実験結果はモデル誤差および外乱が小さい場合であり、このような場合は図25に示されるようにシーク波形は図4に示した規範応答と良く一致している。

【0063】一方、モデル誤差や外乱が大きくなり、これらの影響をフィードバック制御器で十分に吸収できない時は、シーク波形は規範応答から大きくずれてしまう。その例を図26および図27に示す。図26はループゲインを3dB下げた時の1トラックシーク波形であり、図27は擬似加速度外乱として3.3msec半波sinの電圧波形を制御部7の出力段のD/A変換器の出力に加えた時の1トラックシーク波形である。これらの結果から、フィードバック制御器のみを用いた従来の2自由度ヘッド位置制御システムでは、モデル誤差や外乱の影響を十分に抑圧できないことが分かる。

【0064】これに対し、線形フィードバック制御器11とスライディングモード制御器14を併用した本実施形態によるヘッド位置制御システムにおいて、図26および図27の場合と同じモデル誤差の下で測定した1トラックシーク波形を図28および図29に示す。これらの結果から、モデル誤差や外乱の影響が良好に抑圧されていることが分かる。これは、線形フィードバック制御器11によっては抑圧し切れないモデル誤差と外乱の影響をスライディングモード制御器14が補償しているためである。

【0065】なお、上記実施形態では磁気ヘッドを磁気ディスク上の目標トラックに位置決めするシーク動作を行う場合について述べたが、シーク動作の後に磁気ヘッ

ドを目標トラックに対して追従させるトラッキングサーボを行う場合にも、本発明は有効である。トラッキングサーボ時には、図10における目標値 r および規範モデル伝達関数 G_r を0とし、ヘッド位置 y およびヘッド移動速度 v の情報のみをスライディングモード制御器14に入力すればよい。

【0066】その他、本発明は種々変形して実施することができる。

【0067】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によればスライディングモード制御系を線形フィードバック制御系と併用して磁気ディスク装置におけるヘッド位置決め制御を行うことにより、トラックピッチが小さくなった場合でも、従来の線形フィードバック制御系のみによるヘッド位置決め制御では抑圧できなかった外乱やVCMなどのヘッド駆動系のばらつきの影響を受けずに良好なシーク動作を実現でき、速やかに目標トラックへの位置決め制御を行うとともに、オフトラック量を小さくすることも可能となる。

【0068】さらに、スライディングモード制御系とフィードバック制御系の併用により、スライディングモード制御系の持つチャタリングの問題も解決され、安定したヘッド位置決め制御を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来のヘッド位置決め制御システムを構成する2自由度制御系の構成を示す制御ブロック図

【図2】図1中のフィードバック制御器の伝達関数のゲインおよび位相の周波数特性を示す図

【図3】図1のヘッド位置決め制御システムのゲインおよび位相のオープンループ周波数特性を示す図

【図4】ヘッド位置決め制御システムの1トラックシーク時の規範応答を示す図

【図5】図1のヘッド位置決め制御システムにおいてモデル誤差と外乱のない場合の1トラックシーク波形を示す図

【図6】図1のヘッド位置決め制御システムにおいてループゲインが3dB下がった時の1トラックシーク波形を示す図

【図7】図1のヘッド位置決め制御システムにおいて加速度外乱が加わった時の1トラックシーク波形を示す図

【図8】加速度外乱の例を示す図

【図9】本発明の一実施形態に係る磁気ディスク装置の全体的な概略構成を示すブロック図

【図10】同実施形態におけるヘッド位置決め制御システムの機能的構成を示す制御ブロック図

【図11】図10を書き直した等価ブロック図

【図12】図11中の感度関数のゲインおよび位相の周波数特性を示す図

【図13】相補感度関数のゲインおよび位相の周波数特性を示す図

【図14】図10のヘッド位置決め制御システムにおいてスライディングモード制御器をより具体的に示した制御ブロック図

【図15】スライディングモード制御器のみを用いたヘッド位置制御システムのノミナルモデルに対してシミュレーションを行った時の1トラックシーク波形を示す図

【図16】スライディングモード制御器のみを用いたヘッド位置制御システムのノミナルモデルに対してシミュレーションを行った時の切り換え関数 σ のシーク時の変化を示す図

【図17】本実施形態によるヘッド位置制御システムのノミナルモデルに対してシミュレーションを行った時の1トラックシーク波形を示す図

【図18】本実施形態によるヘッド位置制御システムのノミナルモデルに対してシミュレーションを行った時の切り換え関数 σ のシーク時の変化を示す図

【図19】スライディングモード制御器のみを用いたヘッド位置制御システムにおいてモデル誤差に4kHzの共振を持たせた時の1トラックシーク波形を示す図

【図20】スライディングモード制御器のみを用いたヘッド位置制御システムにおいてモデル誤差に4kHzの共振を持たせた時の切り換え関数 σ の値のシーク時の変化を示す図

【図21】本実施形態によるヘッド位置制御システムにおいてモデル誤差に4kHzの共振を持たせた時の1トラックシーク波形を示す図

【図22】本実施形態によるヘッド位置制御システムにおいてモデル誤差に4kHzの共振を持たせた場合の切り換え関数 σ の値のシーク時の変化を示す図

【図23】スライディングモード制御器のみを用いたヘッド位置制御システムにおいて加速度外乱を加えた時の1トラックシーク波形を示す図

【図24】本実施形態によるヘッド位置制御システムにおいて加速度外乱を加えた時の1トラックシーク波形を示す図

示す図

【図25】フィードバック制御器のみを用いた従来の2自由度ヘッド位置制御システムにおいてモデル誤差および外乱が小さい時の1トラックシーク波形の実験結果を示す図

【図26】フィードバック制御器のみを用いた従来の2自由度ヘッド位置制御システムにおいてループゲインを3dB下げた時の1トラックシーク波形の実験結果を示す図

【図27】フィードバック制御器のみを用いた従来の2自由度ヘッド位置制御システムにおいて擬似加速度外乱として3.3msec半波sinの電圧波形を加えた時の1トラックシーク波形の実験結果を示す図

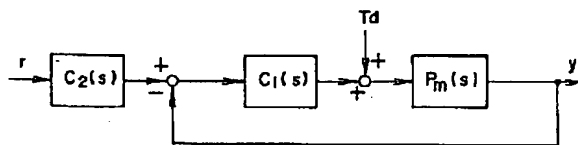
【図28】本実施形態によるヘッド位置制御システムにおいてループゲインを3dB下げた時の1トラックシーク波形の実験結果を示す図

【図29】本実施形態によるヘッド位置制御システムにおいて擬似加速度外乱として3.3msec半波sinの電圧波形を加えた時の1トラックシーク波形の実験結果を示す図

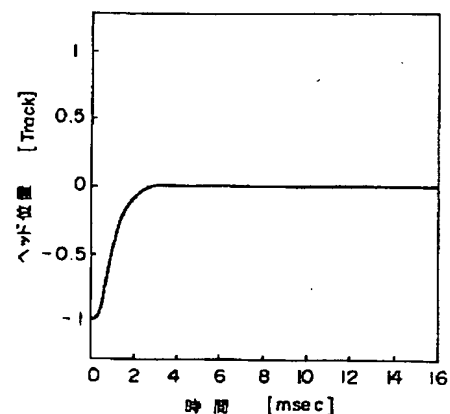
【符号の説明】

- 1…磁気ディスク
- 2…スピンドルモータ
- 3…磁気ヘッド
- 4…VCM (ボイスコイルモータ)
- 5…リードライト回路
- 6…ヘッド位置検出部
- 7…制御部
- 11…線形フィードバック制御器
- 12…前置補償器
- 13…規範モデル設定器
- 14…スライディングモード制御器
- 21…線形フィードバック制御系
- 22…スライディングモード制御系

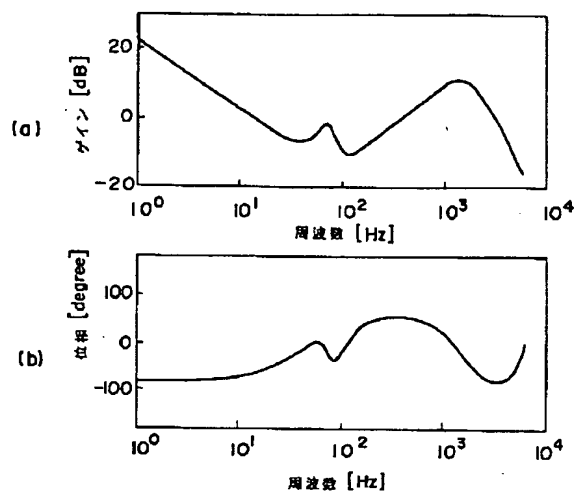
【図1】



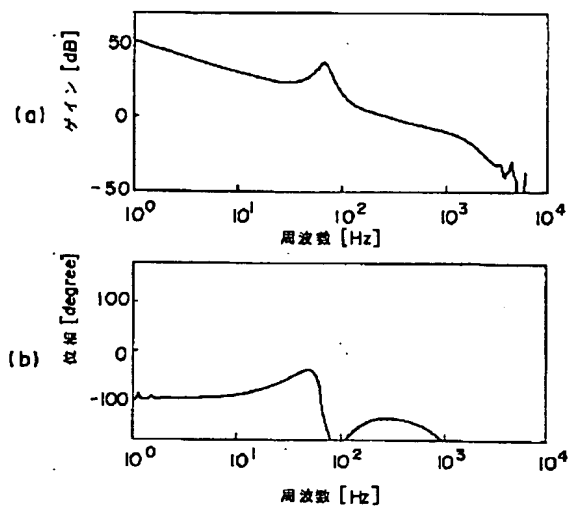
【図4】



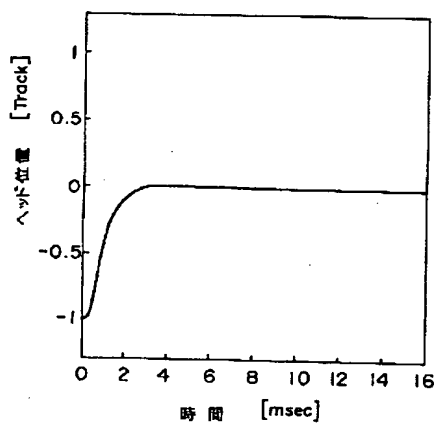
【図2】



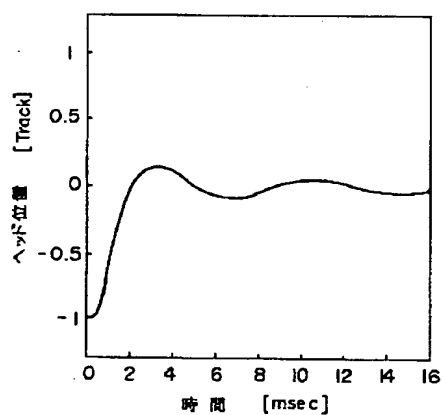
【図3】



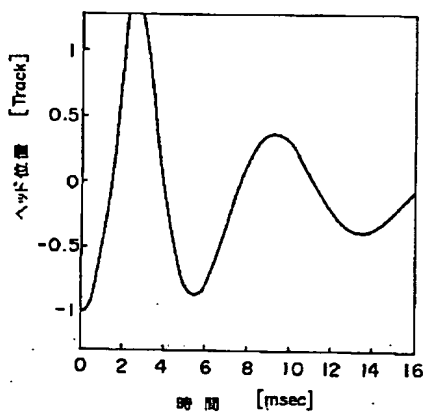
【図5】



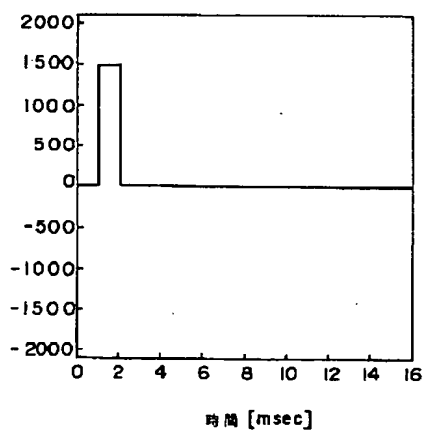
【図6】



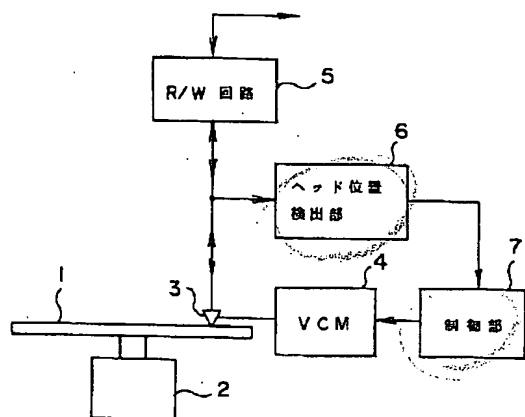
【図7】



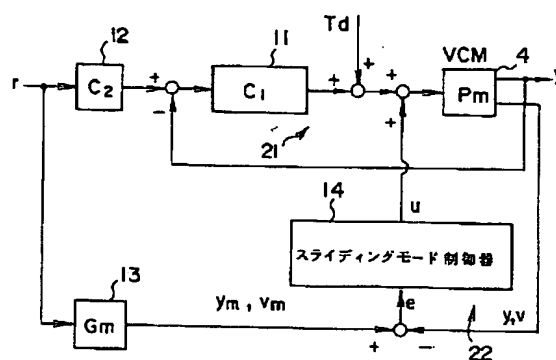
【図8】



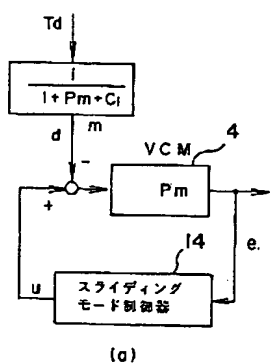
【図 9】



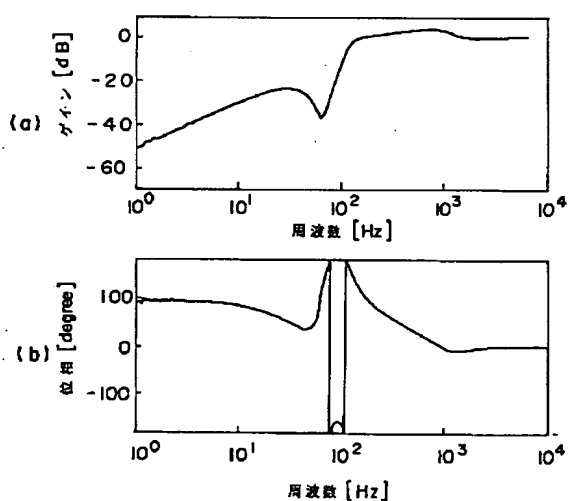
【図 10】



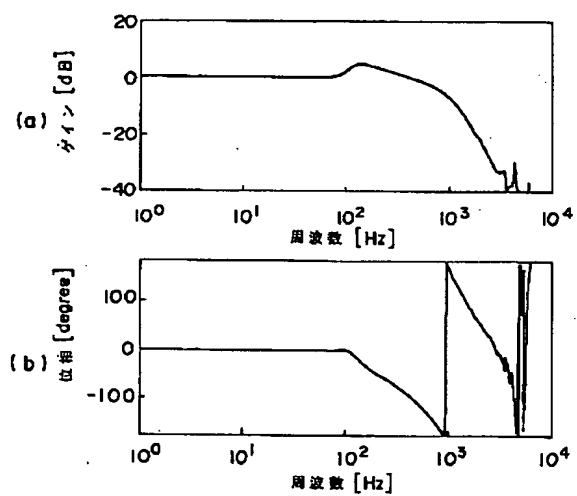
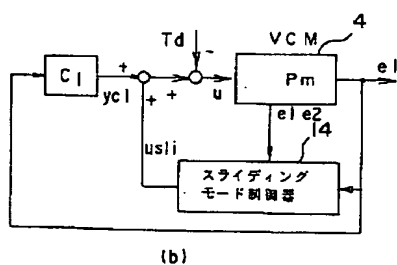
【図 1 1】



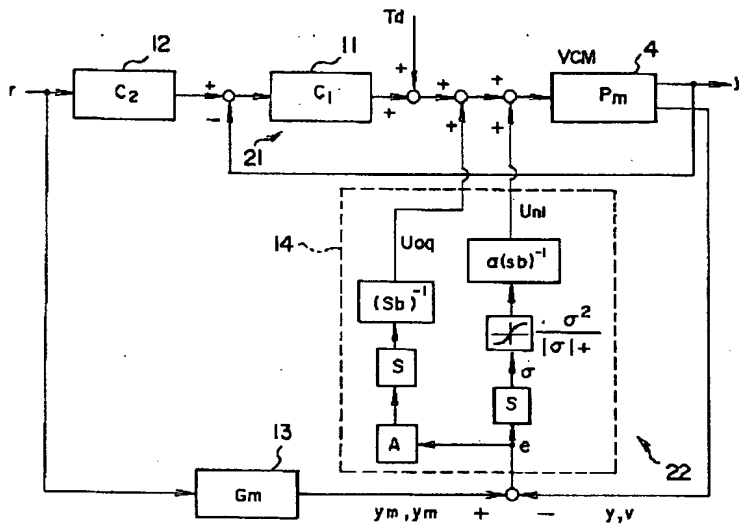
【图 1 2】



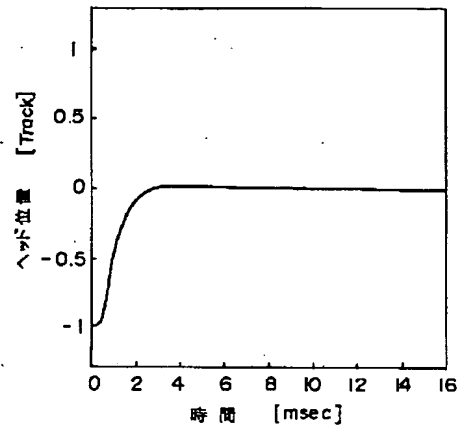
【图 13】



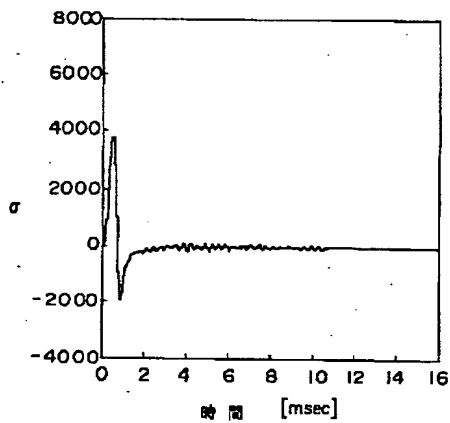
【図14】



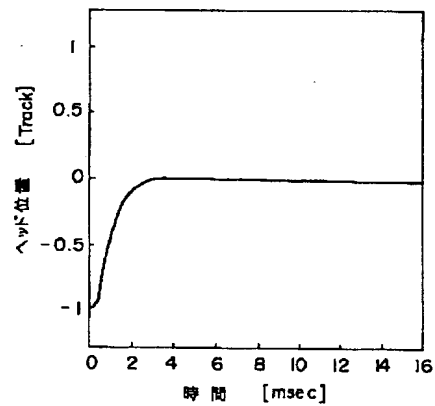
【図15】



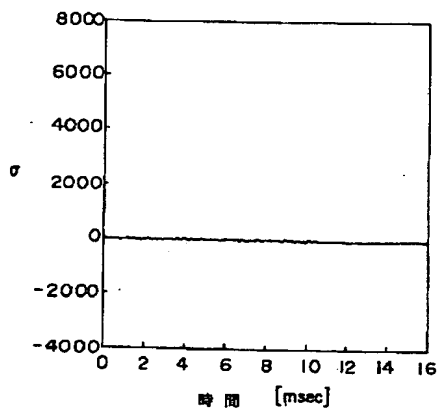
【図16】



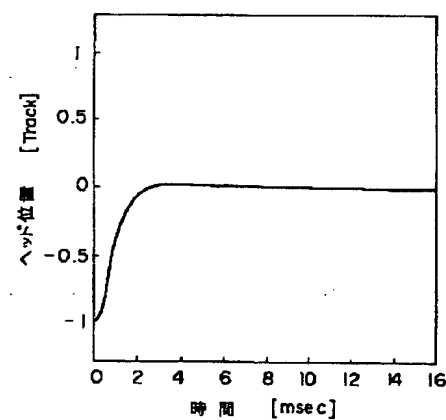
【図17】



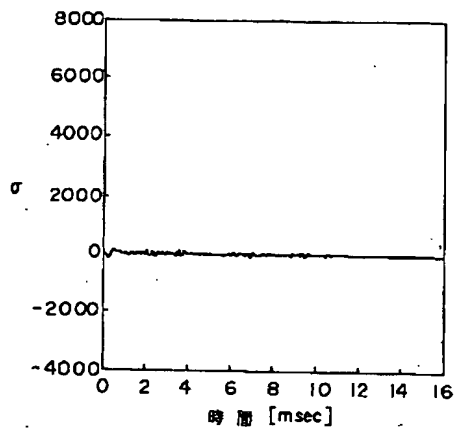
【図18】



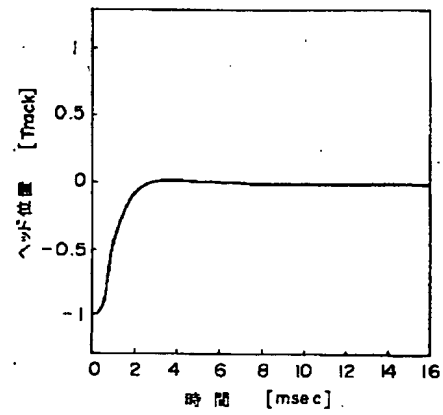
【図19】



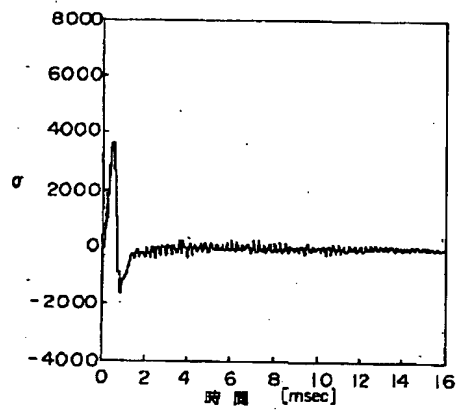
【図20】



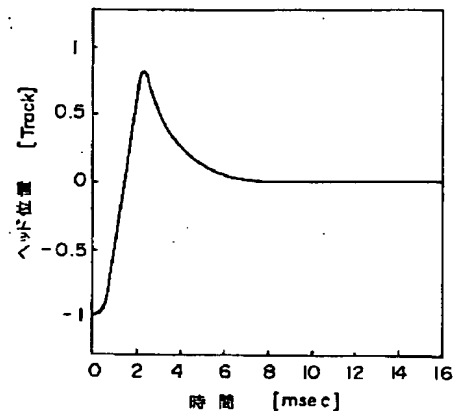
【図21】



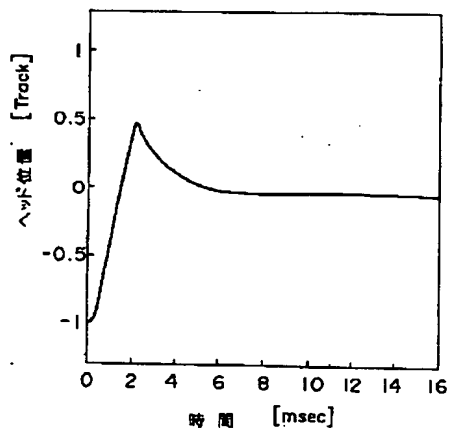
【図22】



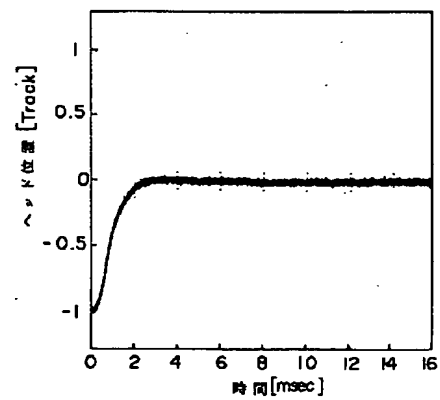
【図23】



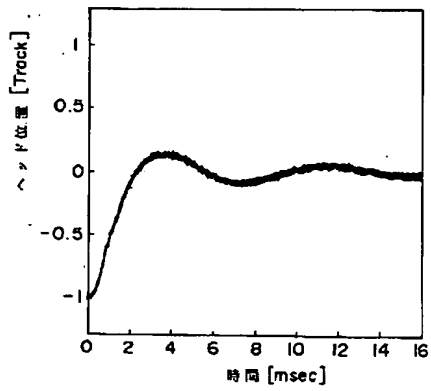
【図24】



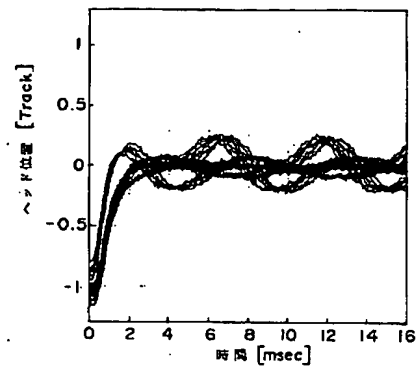
【図25】



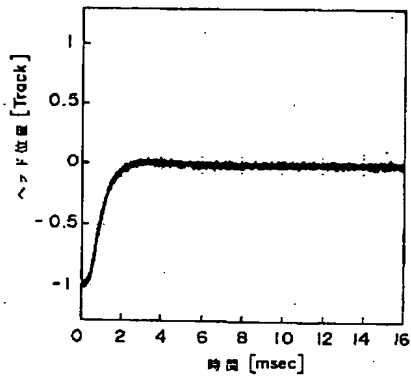
【図26】



【図27】



【図28】



【図29】

